

УДК 551.50

О ТРЕБОВАНИЯХ К ТОЧНОСТИ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

М.Б. ФРИДЗОН, О.А. ЕВТУШЕНКО

Проведена оценка требований к исходной информации на примере прогноза ливневых осадков. Рассмотрена задача о рациональном размещении сети автоматических станций на вышках сотовой связи.

Ключевые слова: опасное погодное явление, метеорологическая информация, сеть станций.

По данным Росгидромета размер прямых экономических потерь от опасных погодных явлений в РФ колеблется в пределах от 1 до 2 млрд. долл. в год, именно поэтому важное значение имеют требования к точности и достоверности метеоинформации, определяемой среднеквадратической погреш-

ностью прогноза опасных метеозадач или явлений погоды» [1] $\sigma_Q = \left(\sum_{i,j} \left(\partial Q / \partial M_{i,j} \right)^2 \sigma_{M_{ij}}^2 \right)^{0,5}$,

где $\sigma_{M_{ij}}$ - точность исходной информации о метеорологическом элементе M_i на уровне j . Приведенная формула дает возможность провести оценку требований к исходной информации. За допустимую ошибку прогноза количества ливневых осадков принято считать $\sigma_Q = 2\text{мм} + 0,2R_{\text{мм}}$, исходя из чего, проведём расчёт требований к точности и пространственному разрешению измеряемых метеопараметров применительно к прогнозу полусуточного количества ливневых осадков - Q , которое представляет собой функцию начальных значений температуры воздуха T и точки росы - T_d у земной поверхности и на ряде уровней над ней. В этом случае будем иметь

$\sigma_Q = \left[\sum_{j=3}^{N \gg 1} \left(\partial Q / \partial T_j \right)^2 \sigma_{T_j}^2 + \left(\partial Q / \partial T_{d,j} \right)^2 \sigma_{T_{d,j}}^2 \right]^{0,5}$, где $\sigma_{T_j}, \sigma_{T_{d,j}}$ - среднеквадратические погрешности

исходных значений температуры и точки росы на j -м уровне. Будем рассматривать требования к метеоинформации только на уровне земли и до высоты 60-70 м.

Полагая, что для всех уровней $\sigma_T = \sigma_{T_d}$, и что σ_T и σ_{T_d} у земной поверхности составляют 2/3 от σ_T и σ_{T_d} на высотах, при $\sigma_Q = 2\text{мм} + 0,2R_{\text{мм}}$ по приведенной формуле были получены величины допустимых погрешностей исходных значений T и T_d в начальных точках траекторий (требуемых точностей интерполяции T и T_d). Для летнего случая ($Q=6\text{ мм}$ за 12 ч) они составили 0,3-0,4°С у земной поверхности и 0,5-0,6°С на высотах.

Прогноз гроз и шквалов, как и прогноз значительных осадков, основывается на построении прогностических стратификаций температуры и точки росы, которые в этих случаях должны быть рассчитаны с не меньшей точностью, чем для прогноза осадков. Это подтверждается расчетами допустимой ошибки в значениях T и T_d , а также скорости ветра, которые используются для вероятностного прогноза грозы и для прогноза шквала. Расчёты показывают, что при допустимой ошибке прогноза грозы в 20% точность исходных значений T и T_d должна быть не хуже 0,5°С. При ошибке в 5% точность исходных данных должна быть не хуже 0,2-0,3°С.

Допустимая ошибка прогноза скорости ветра составляет 3 м/с. Это соответствует точности информации о скорости ветра на высотах 2,5 м/с и 1,5 м/с у земной поверхности. Из анализа пространственной изменчивости скорости ветра следует, что достаточное пространственное разрешение для этого элемента достигается также при плотности наземной наблюдательной сети 2000-2500 км². Согласно этим значениям можно рассмотреть задачу о рациональном размещении сети автоматических станций на вышках сотовой связи. Полностью корректное решение задач рационального планирования систем метеорологических и экологических наблюдений может быть получено только при привлечении экономических соображений.

Если рассмотреть сумму затрат C на содержание системы наблюдений и убытков L , вследствие

недостаточности метеорологической (экологической) информации, очевидно, что должна существовать совокупность значений параметров системы наблюдений, при которой сумма затрат и убытков меньше, чем при любом другом наборе этих параметров. Указанная совокупность и определяет оптимальную систему наблюдений.

Рассмотрим количественную схему, реализующую описанный подход. Будем рассматривать задачу о рациональной густоте сети станций, т.е. примем фиксированными все параметры сети, кроме ее густоты, которую будем характеризовать числом станций N на заданной площади S . Пусть стоимость каждой из этих станций C_0 (т.е. затраты на ее содержание с учетом также единовременных затрат при основании станции) одинакова, так что общие затраты на содержание сети составляют $C = C_0 N$. Предположим, наконец, что потери из-за неточного знания метеоинформации определяются одним параметром неточности информации F , а именно, являются линейной функцией этого параметра $L = \alpha F + b$, где $a > 0$, т.е. чем менее точно известна информация, тем больше потери. Если принять условие фиксированности всех остальных параметров сети, то параметр F будет зависеть только от густоты ее $F = F(N)$, а именно, будет убывающей функцией N , т.к. с увеличением густоты сети степень неточности информации уменьшается. Максимальны потери при полном отсутствии станций $L_{\max} = aF(0) + b$, т.е. уменьшение потерь вследствие работы N станций составляет $U(N) = L_{\max} - L(N) = \alpha[F(0) - F(N)]$, а выгода от содержания N станций оценивается разностью между $U(N)$ и $C(N)$, т.е. $G(N) = U(N) - C_0 N$.

Как видно, функция $U(N)$ обращается в нуль при $N=0$. С ростом N она стремится к предельному значению, равному $U(\infty) = \alpha F(0)$, т.к. $F(\infty) = 0$. Зависимость U , C и G от N представлена на рис. 1. При этом должно выполняться неравенство $-dF/dN|_{N=0} > C_0/\alpha$, т.к. в противном случае сеть станций не рациональна ни при каком N , т.е. содержание сети выгодно, если $N < N_{\max}$. Таким образом, $U(N) = C(N)$, т.е. $\alpha[F(0) - F(N_{\max})] = C_0 N_{\max}$.

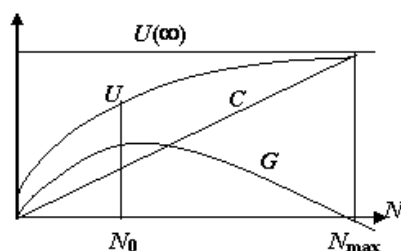


Рис. 1. Схема зависимостей U , C и G от числа станций

Максимальная же выгода получается при существенно меньшем значении N_0 числа станций N , которое можно найти из равенства $dF/dN|_{N=N_0} = C_0/\alpha$, что и определяет оптимальную густоту сети.

Будем использовать чисто метеорологический подход, в рамках которого точность метеорологической информации задается заранее, на основании чего определяются требования к сети станций.

Сеть станций, расположенная на некоторой территории, должна давать возможность определять с нужной точностью значения метеорологических элементов во всех точках этой территории, а не только в тех, где расположены станции. Иначе говоря, необходимо, чтобы ошибка интерполяции элемента в любую точку территории по данным окружающих эту точку станций не была слишком велика. Естественно рассматривать это требование в статическом аспекте, а именно, налагать ограничение на величину средней квадратичной ошибки такой интерполяции E .

Наиболее простым вариантом такой интерполяции является линейная интерполяция метеорологического элемента в точке отрезка, соединяющего две соседние станции. Можно предположить при этом, что ошибка такой интерполяции будет больше для середины отрезка, чем для любой другой его точки. Тогда нужно исходить из средней квадратичной ошибки $E_{2л}$ линейной интерполя-

ции на середину отрезка, соединяющего две соседние станции. Эта интерполяция сводится к определению среднего арифметического из значений на станциях. Если поле рассматриваемого элемента считать однородным и изотропным по отношению к ковариационной функции $m(r)$, а ошибки его измерения - случайными, то для $E_{2,l}$ можно получить формулу

$$E_{2,l}(l) = \frac{3}{2}\sigma^2 - 2m\left(\frac{l}{2}\right) + \frac{1}{2}m(l) + \frac{1}{2}\Delta^2, \text{ где } l - \text{расстояние между станциями; } \sigma^2 = m(0) - \text{дисперсия метеорологического элемента; } \Delta^2 - \text{дисперсия ошибок его измерения.}$$

Если вместо ковариационной функции $m(r)$ ввести структурную функцию

$b(r) = 2\sigma^2 - 2m(r)$, то получим широко известную формулу Дроздова-Шепелевского

$$E_{2,l}(l) = b\left(\frac{l}{2}\right) - \frac{1}{4}b(l) + \frac{1}{2}\Delta^2.$$

Зная структурную функцию рассматриваемого метеорологического элемента и дисперсию ошибок измерения, легко с помощью полученных соотношений найти максимально допустимое расстояние между станциями l_m как расстояние, при котором средняя квадратичная ошибка линейной интерполяции на середину отрезка между станциями $E_{2,l}$ равна заданной величине E_m . В качестве такой величины Дроздов и Шепелевский предложили принимать $E_m = \Delta$, т.е. требовать, чтобы точность интерполяции совпадала с точностью измерений. Разумеется, данный метод применим и при любом ином задании $E_{2,l}$, лишь бы эта величина была известна заранее.

В общем случае решение уравнения относительно l_m можно выполнить графически. Если же удастся воспользоваться достаточно простой аппроксимацией структурной или корреляционной функции метеорологического элемента, то можно получить аналитическое решение этого уравнения. Удобно с этой целью воспользоваться безразмерными величинами, что приводит к следующему уравнению

$$\varepsilon_{2,l}^2(l) = \frac{3}{2} - 2\mu\left(\frac{l}{2}\right) + \frac{1}{2}\mu(l) + \frac{1}{2}\eta^2, \text{ где } \eta^2 - \text{мера ошибки измерения; } \varepsilon_{2,l}^2 - \text{мера ошибки интерполяции; } \mu(r) - \text{корреляционная функция.}$$

Если последняя является линейной $\mu(r) = 1 - r/r_0$, получим $l_m = r_0(2\varepsilon_m^2 - \eta^2)$, где ε_m^2 - предельно допустимые значения меры ошибки интерполяции. Если задать это значение согласно предложению Дроздова и Шепелевского, т.е. принять $\varepsilon_m = \eta$, то $l_m = r_0\eta^2$

ЛИТЕРАТУРА

1. Юдин М.И. Вопросы теории турбулентности и структуры ветра с приложением к задаче о колебаниях самолета // Вестник ЛГУ. - 1946. - Вып. 1. - С 113-115.

ABOUT REQUIREMENTS FOR EXACTNESS OF METEOROLOGICAL INFORMATION

Fridzon M.B., Evtushenko O.A.

Appraisal of requirements for initial information for example of downpour precipitation's prognosis is conducted. The problem of rational place for network of automatical stations on watch – towers of comb communication is considered.

Keywords: dangerous appearance of weather, meteorological information, network of station.

Сведения об авторах

Фридзон Марк Борисович, 1936 г.р., окончил КГУ (1960), профессор, доктор технических наук, заведующий отраслевой научно-исследовательской лабораторией МГТУ ГА, автор более 150 научных работ, область научных интересов - радиометеорология, метеообеспечение полетов.

Евтушенко Олег Александрович, 1970 г.р., окончил ОЛАГА (1992), кандидат технических наук, директор ГосНИИ «Аэронавигация», автор 12 научных работ, область научных интересов - навигация, управление воздушным движением, обеспечение безопасности полетов.